

VŠB – Technická universita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra části a mechanismů strojů

Návrh pružné elastomerové spojky

Design of an Flexible Elastomer Coupling

Student:

Radek Heczko

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.

Ostrava 2011

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Radek Heczko**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R010 Konstrukce strojů a zařízení

Specializace:

40 Konstrukce strojních dílů a skupin

Téma:

Návrh pružné elastomerové spojky  
Design of a Flexible Elastomer Coupling

Zásady pro vypracování:

Proveďte konstrukční návrh pružné hřídelové spojky s pružícími elastomerovými prvky. Spojka je zařazena mezi asynchronním elektromotorem o výkonu 15 [kW] a otáčkách 1470 [min<sup>-1</sup>] a kuželočelní převodovkou jednobubnové pohonné stanice pásového dopravníku pro přepravu surového uhlí. Spojku navrhnete tak, aby bylo možné vyměňovat elastomerové prvky bez demontáže nábojů na hřídelích. Nakreslete sestavu spojky a dílenský výkres hnacího náboje. Rozsah práce cca 30 stran,

Seznam doporučené odborné literatury:

BOLEK, A. *Hřídelové spojky*. Praha: SNTL, 1967.  
BOLEK, A. KOCHMAN, J. a kol. *Části strojů I*. Praha: SNTL, 1989. 776s. ISBN 80-03-0046-7.  
FRIES, J. AJ. *Konstrukční řešení bubnů pásových dopravníků a jejich výpočet*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003. 121 s. ISBN 80-248-0484-0.  
KALÁB, K. *Části a mechanismy pro bakaláře. Části pohonů strojů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3.  
MAŠEK, A., NĚMEC, J. *Spojky*. Praha: SNTL, 1963.  
MORAVEC, V., HAVLÍK, J. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 72 s. ISBN 978-80-248-0878-9.  
POLÁK, J., BAILOTTI, K., PAVLISKA, J., HRABOVSKÝ, L. *Dopravní a manipulační zařízení II*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 106 s. ISBN 80-248-0493-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

  
prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Radek Heczko

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Návsí 1008, 739 92, okres Frýdek-Místek

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

HECZKO, R. Návrh pružné elastomerové spojky: bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2011, 36 s. Vedoucí práce: Kaláb, K.

Bakalářská práce se zabývá návrhem pružné hřídelové spojky s pružícími elastomerovými prvky. První část práce je věnována rozdělení pružných hřídelových spojek a přehledu řešení spojek s elastomerovými prvky. V další části je uveden konstrukční návrh a výpočet. Spojka je zařazena mezi asynchronním elektromotorem a kuželočelní převodovkou jednobubnové pohonné stanice pásového dopravníku pro přepravu surového uhlí. Výsledkem práce je návrh pružné elastomerové spojky, výkres sestavy spojky a dílenský výkres hnacího náboje.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

HECZKO, R. Design of an Flexible Elastomer Coupling: Bachelor Thesis. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2011, 34 p. Thesis head: Kaláb K.

The bachelor thesis deals with design of an flexible shaft coupling with suspension elastomer elements. There is discussed the division of flexible shaft coupling in the first part. There is mention the solutions of coupling with elastomer elements. In next part there is presented a constructional concept and calculation. The coupling is located between the asynchronous electromotor and helical transmission which is located in the station of a belt conveyer used for transportation untreated coal. The desing of flexible elastomer coupling, the design of configuration and working drawing of driven hub are results of my thesis.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Poděkování patří vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Květoslavu Kalábovi, Ph.D za odborné připomínky a pomoc při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

|   |    |
|---|----|
| Seznam použitých značek a symbolů.....                            | 8  |
| Úvod.....   | 10 |
| 1. Cíl práce.....   | 11 |
| 2. Rozdělení hřídelových spojek.....                              | 12 |
| 2.1. Rozdělení podle ČSN.....                                     | 12 |
| 2.2. Spojky mechanicky neovládané.....                            | 12 |
| 2.3. Spojky mechanicky ovládané.....                              | 13 |
| 2.4. Pružné spojky.....   | 13 |
| 3. Přehled řešení pružných spojek s elastomerovými prvky.....     | 17 |
| 4. Vlastnosti pružných elastomerových spojek.....                 | 19 |
| 5. Konstrukční návrh pružné elastomerové spojky.....              | 22 |
| 5.1. Návrh spojky.....  | 22 |
| 5.2. Návrh Pružného jádra.....                                    | 24 |
| 6. Výpočet pružné elastomerové spojky.....                        | 25 |
| 6.1. Výpočtový moment spojky.....                                 | 25 |
| 6.2. Výpočet namáhání pružného jádra.....                         | 26 |
| 6.3. Výpočet namáhání pružného jádra metodou konečných prvků..... | 28 |
| 6.4. Kontrola namáhání šroubu na střih a otlačení.....            | 29 |
| 6.5. Kontrola boku pera a drážky na otlačení.....                 | 29 |
| 7. Montáž a údržba.....   | 31 |
| 8. Závěr.....   | 33 |
| 9. Seznam použité literatury.....                                 | 34 |
| 10. Seznam příloh.....  | 36 |

**SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ**

| <b>Značka</b> | <b>Význam</b>  | <b>Jednotky</b> |
|---------------|--|-----------------|
| $T_J$         | Jmenovitý točivý moment                              | $[N \cdot m]$   |
| $T_S$         | Výpočtový moment spojky                              | $[N \cdot m]$   |
| $T_{SMAX}$    | Maximální moment spojky                              | $[N \cdot m]$   |
| $P_M$         | Výkon elektromotoru                                  | $[W]$           |
| $n_M$         | Otáčky elektromotoru                                 | $[min^{-1}]$    |
| $s$           | Servisní faktor                                      | $[-]$           |
| $s_t$         | Teplotní faktor                                      | $[-]$           |
| $s_s$         | Bezpečnostní faktor pro četnost spouštění            | $[-]$           |
| $F_{OB}$      | Obvodová síla  | $[N]$           |
| $D_0$         | Roztečná kružnice pružného jádra                     | $[mm]$          |
| $p$           | Měrný tlak   | $[MPa]$         |
| $i$           | Počet zatížených ramen pružného jádra                | $[-]$           |
| $x$           | Šířka průřezu pružného jádra                         | $[mm]$          |
| $y$           | Výška průřezu pružného jádra                         | $[mm]$          |
| $\varepsilon$ | Poměrné stlačení                                     | $[mm]$          |
| $S_0$         | Průřez ramenem pružného jádra                        | $[mm^2]$        |
| $E_0$         | Modul pružnosti pružného jádra                       | $[MPa]$         |
| $C_p$         | Tuhost pružného jádra                                | $[N \cdot mm]$  |
| $h_0$         | Tloušťka ramene jádra v místě působení obvodové síly | $[mm]$          |
| $i_s$         | Počet šroubů   | $[-]$           |
| $R$           | Střední poloměr spojky                               | $[mm]$          |
| $d$           | Průměr hladkého dříku šroubu                         | $[mm]$          |
| $d_2$         | Střední průměr závitu šroubu                         | $[mm]$          |
| $\tau$        | Namáhání na střih                                    | $[MPa]$         |
| $\tau_{DOV}$  | Dovolené namáhání na střih                           | $[MPa]$         |
| $p_O$         | Měrný tlak   | $[MPa]$         |
| $p_{ODOV}$    | Dovolený měrný tlak                                  | $[MPa]$         |
| $d_h$         | Průměr hřídele elektromotoru                         | $[mm]$          |
| $b$           | Šířka pera   | $[mm]$          |
| $h$           | Výška pera   | $[mm]$          |
| $t_1$         | Hloubka drážky v náboji                              | $[mm]$          |



| <b>Značka</b> | <b>Význam</b>            | <b>Jednotky</b> |
|---------------|--------------------------|-----------------|
| t             | Hloubka drážky v hřídeli | [mm]            |
| $p_{DOV}$     | Dovolený tlak            | [MPa]           |
| $l'$          | Délka boku pera          | [mm]            |
| l             | Délka pera               | [mm]            |

## ÚVOD

Pružné hřídelové spojky jsou mechanismy určené k přenosu točivého momentu mezi hnacím a hnaným hřídelem a zároveň mají za úkol mírnit rázy točivého momentu. Spojujícím členem hnací a hnané části spojky je jeden nebo více pružných článků, vyrobených s kovu, pryže, kůže nebo plastu. Pružné spojky změkčují rázy tím, že kinetickou energii rázu částečně pohlcují pružnými elementy přeměnou v energii tepelnou a částečně ji akumulují v pružných elementech přeměnou v deformační práci. Dále mohou sloužit jako ochrana před rezonančními torsními kmity, vznikajícími v mechanismu následkem nerovnoměrnosti točivého momentu. Nevyžadují souosost spojovaných hřídelů, vyrovnávají jejich vzájemné osové posuny i úhlové výchylky.

## 1. CÍLE PRÁCE

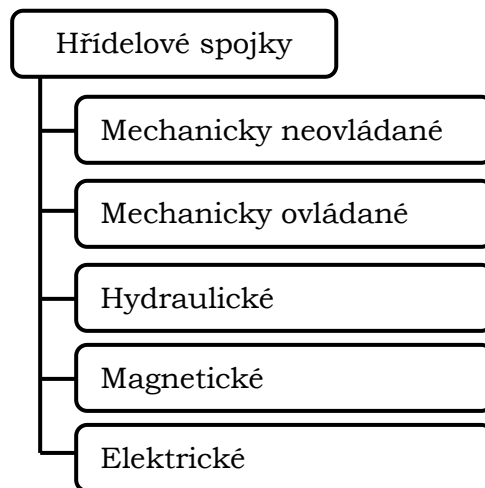
V rámci splnění zadání bakalářské práce jsem si stanovil tyto cíle:

1. Rozdělení hřídelových spojek
2. Přehled řešení pružných spojek s elastomerovými prvky
3. Vlastnosti pružných elastomerových spojek
4. Konstrukční návrh pružné elastomerové spojky
5. Výpočet pružných elastomerových spojek
6. Montáž a údržba pružných elastomerových spojek

## 2. ROZDĚLENÍ HŘÍDELOVÝCH SPOJEK

### 2.1 Rozdělení podle ČSN

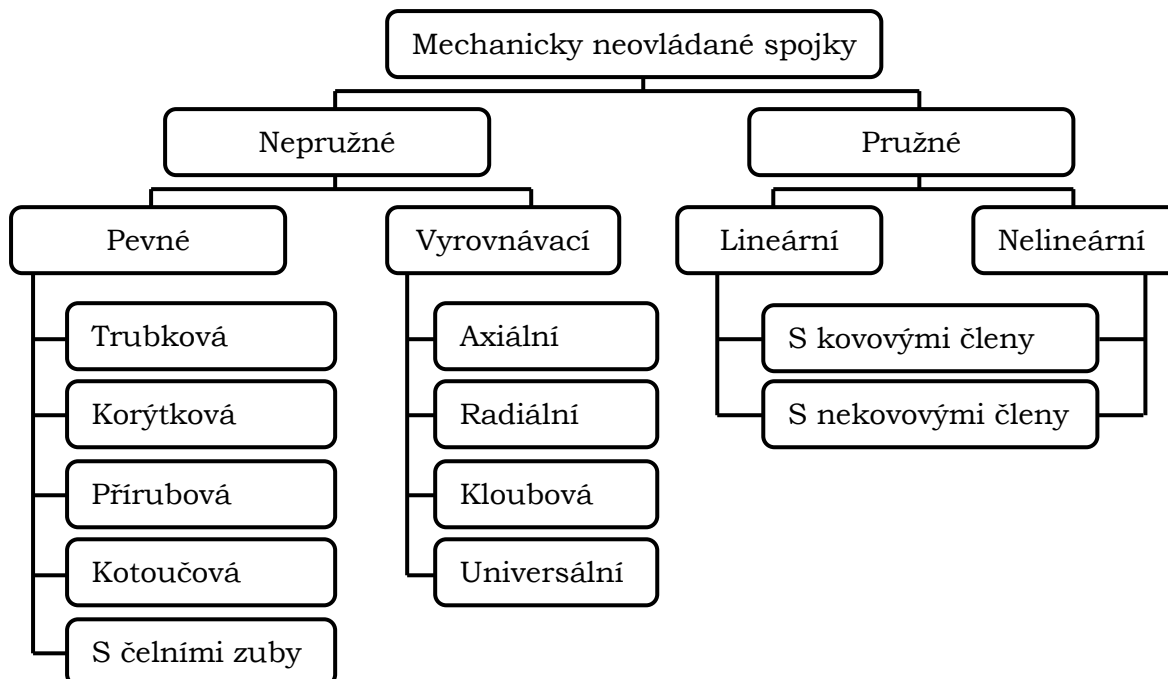
Spojky se podle ČSN rozdělují na [8]:



Obr. 1 Rozdělení hřídelových spojek

### 2.2 Spojky mechanicky neovládané

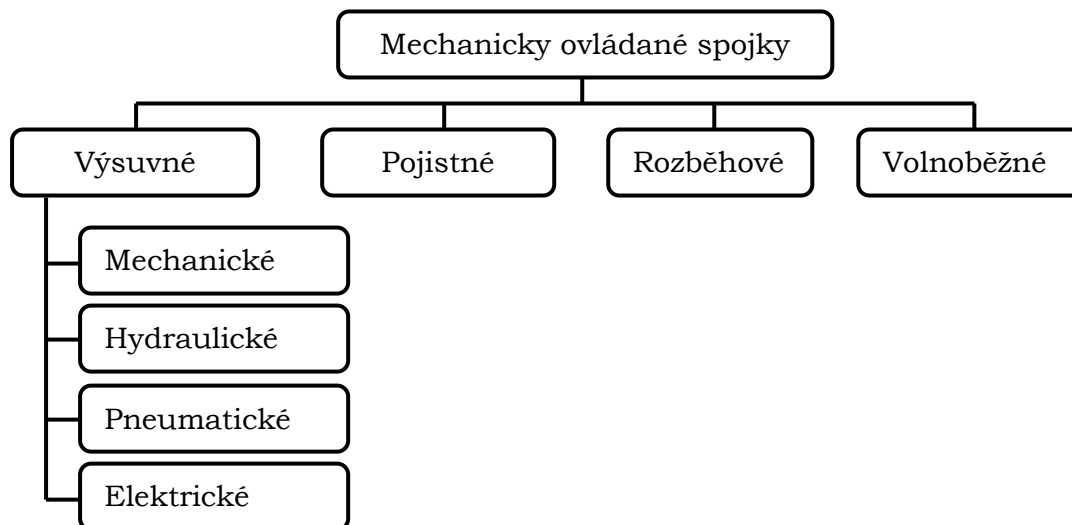
Spojují hřídele napevno a trvale, neumožňují ovládání spojky. Točivý moment je přenášen tvarovým nebo silovým stykem [8]. Dělí se na:



Obr. 2 Rozdělení mechanicky neovládaných spojek

## 2.3 Spojky mechanicky ovládané

Spojky mechanicky ovládané se dělí na [8]:



Obr. 3 Rozdělení mechanicky ovládaných spojek

## 2.4 Pružné spojky

Pružných spojek existuje celá řada a mívají různé tvarové a konstrukční řešení. Z tohoto důvodu zde uvádím jen několik nejpoužívanějších typů spojek.

### - Kotoučová čepová spojka

Je jednou z nejpoužívanějších pružných spojek. Dva kotouče mají náboje spojené s hřídelí pomocí per. V jednom kotouči jsou uložena pouzdra např. z polyamidu nebo pryže. Čepy jsou vyměnitelné bez demontáže spojky. (Obr. 4)



Obr. 4 Kotoučová čepová spojka [13]

- Spojka s gumovými hranoly

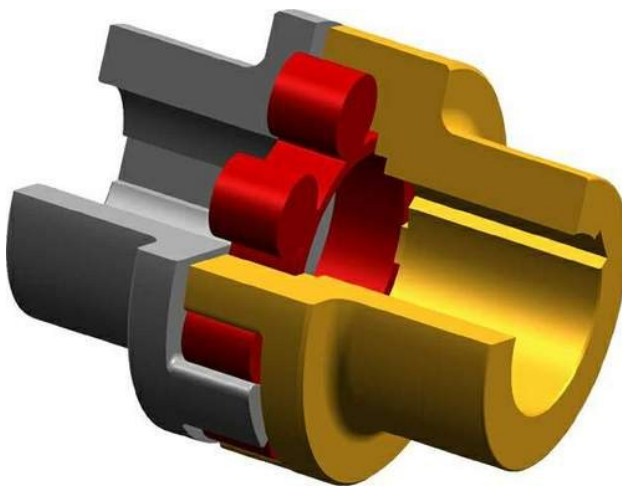
Jako pružící prvek slouží několik stejných pružících prvků vyrobených z pryže nebo polyamidu. Tyto prvky jsou vloženy mezi dvěma náboji (Obr. 5).



Obr. 5 Spojka s gumovými hranoly [18]

- Čelní zubová spojka

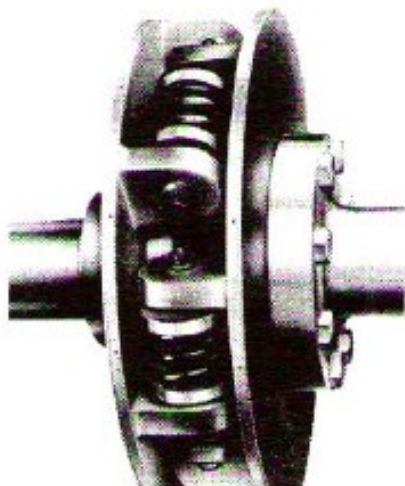
Obdoba spojky s gumovými hranoly. Spojka sestává ze dvou nábojů a jednoho pružného prvku, vloženého mezi nimi (Obr. 6).



Obr. 6 Čelní zubová spojka [14]

- Spojka s obvodovými šroubovými pružinami

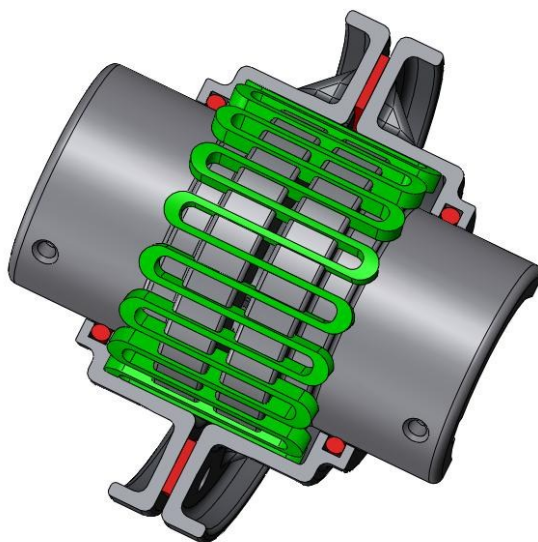
Velmi dobře tlumí rázy zejména při rozběhu. Je odolná vůči vlivům pracovního prostředí. Po dosednutí pružin na sebe pracuje jako pevná spojka (Obr. 7).



Obr. 7 Spojka s obvodovými šroubovými pružinami [17]

- Spojka s vinutou pružinou (Bibi)

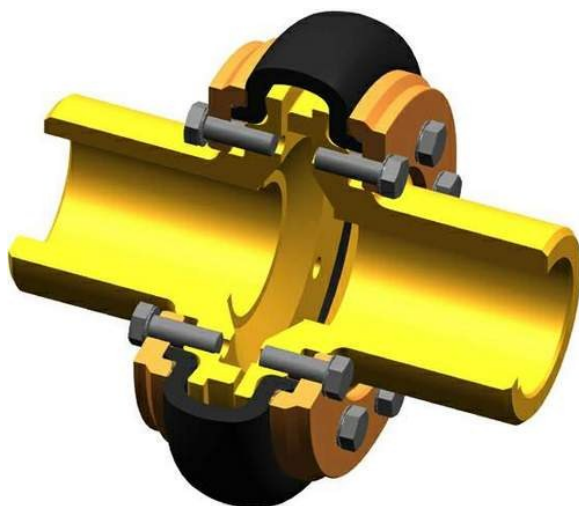
Na obvodu hnacího a hnaného kotouče má drážky, do kterých je vložena pružina. Je vhodná pro největší zatížení s rázy, odolná vůči vlivům prostředí a umožňuje reverzační otáčení (Obr. 8).



Obr. 8 Spojka s vinutou pružinou [15]

- Obručová spojka (Periflex)

Skládá se ze dvou kotoučů, z pryžové obruče s textilní vložkou a ze dvou přitlačných kroužků. Montáž je jednoduchá i při nedostatku místa, aniž by se některá ze spojovaných částí musela posouvat (Obr. 9).



Obr. 9 Obručová spojka [16]

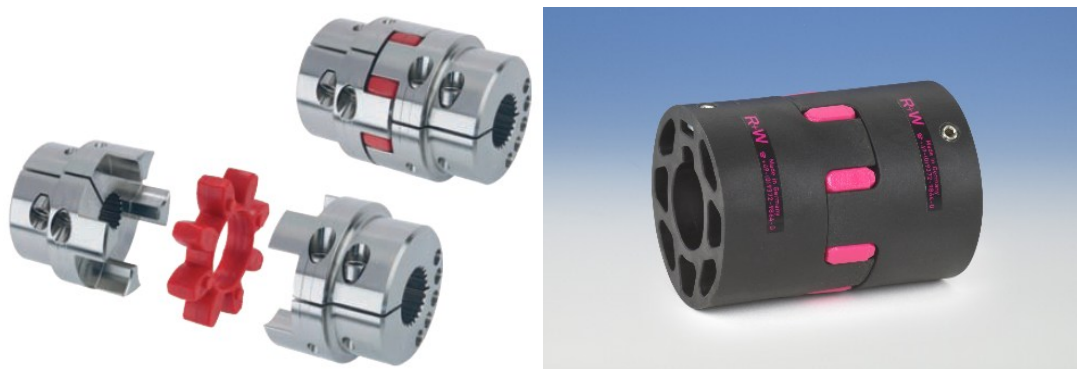


### 3. PŘEHLED ŘEŠENÍ PRUŽNÝCH SPOJEK S ELASTOMEROVÝMI PRVKY

U těchto spojek mívají pružící elementy zpravidla jednoduchý geometrický tvar. Každá firma vyrábějící pružné spojky s elastomerovými prvky má však své vlastní tvarové řešení, které nebývají vždy podobná. Proto zde uvádím příklady výrobců pružných elastomerových spojek s různými geometrickými řešeními pružících elementů.

**Firmy ROTEX [19], HBE [20], CHIARAVALLI [21], STROMAG [14], TRASCO [11], SKF [10], R+W [22]**

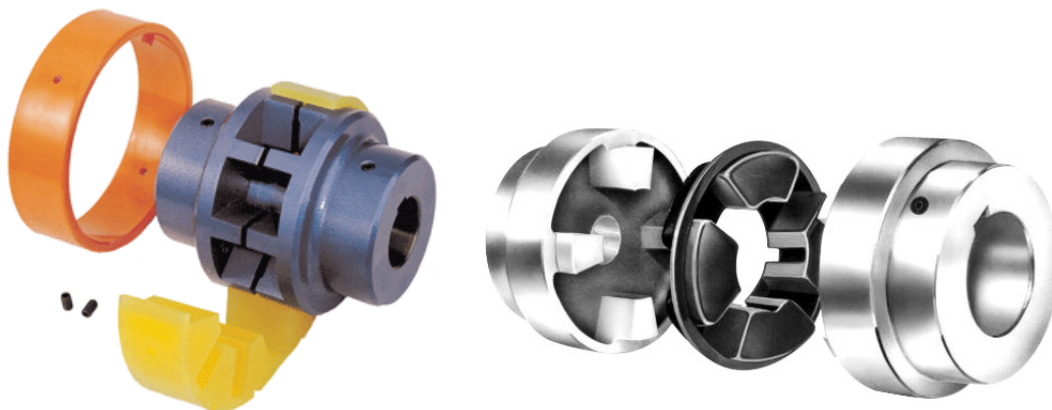
Nejčastěji používaným řešením je spojka skládající se ze dvou přírub a jednoho pružícího prvku ve tvaru hvězdy (Obr. 10). Tato spojka má malý počet součástí a je tvarově jednoduchá. Její nevýhodou je složitá výměna pružícího elementu, kdy je nutná demontáž přírub z hřídelů.



Obr. 10 Pružná spojka Rotex [19] a R+W [22]

**Firmy BOMAB [23], MAGNALOY [25], LOVEJOY [24]**

Tito výrobci mívají jako pružící element různě tvarovaný kroužek (Obr. 11). Výhodou řešení od firmy BOMAB je možnost snadné výměny kroužku bez demontáže přírub.



Obr. 11 Pružná spojka Bomab Samiflex [23] a Magnaloy [25]

### Firmy KTR [13], FLENDER [27]

Pružící elementy tvoří několik samostatných hranolů umístěných rovnoměrně mezi zuby spojky (Obr. 12). Nevýhodou je větší počet součástí.



Obr. 12 Pružná spojka KTR [26] a Flender [27]

#### 4. VLASTNOSTI PRUŽNÝCH ELASTOMEROVÝCH SPOJEK

Pružné elastomerové spojky mají tyto vlastnosti:

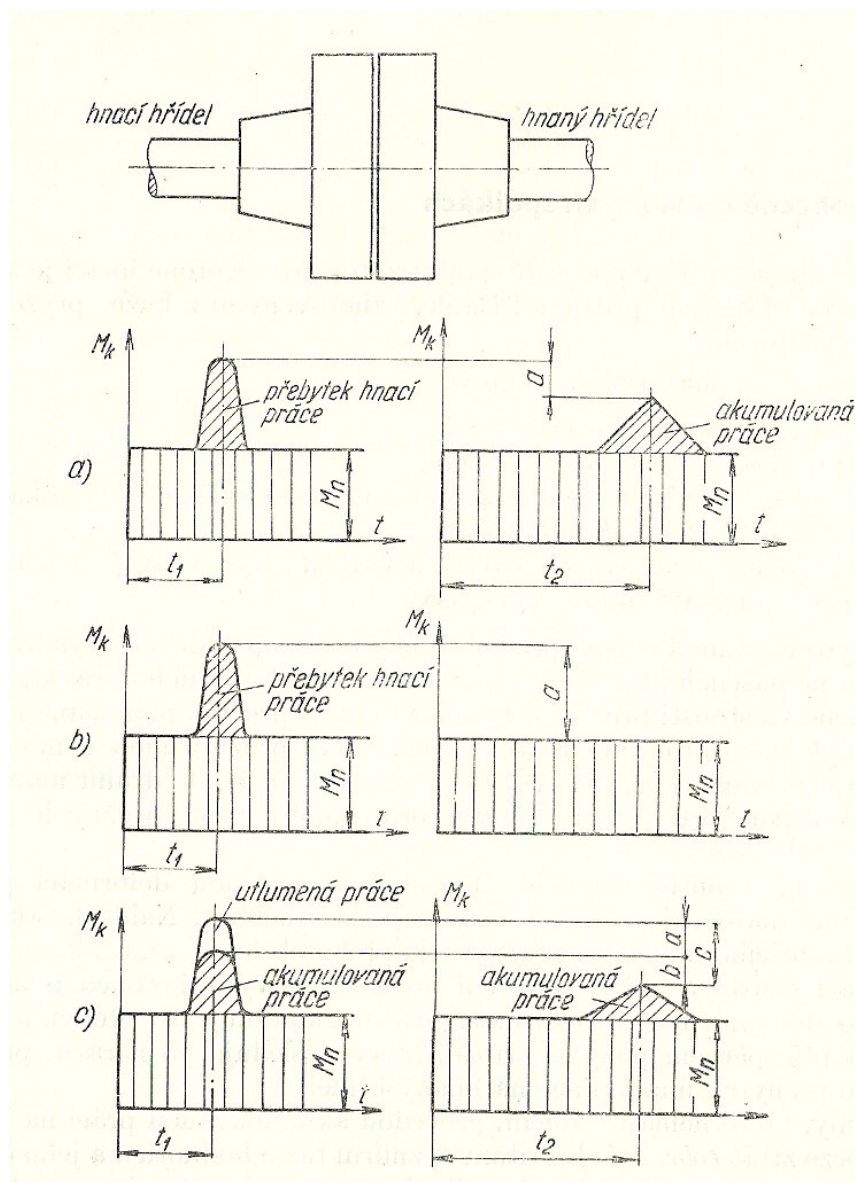
1. Mírní rázy točivého momentu
2. Mění kritické otáčky mechanismu
3. Chrání mechanismus před rezonančními torzními kmity
4. Nevyžadují souosost spojovaných hřídelů

Pružné elastomerové spojky se díky svým vlastnostem hodí pro spojování hřídelů vystavených změnám přenášeného točivého momentu, buď náhodným, nebo pravidelným [1].

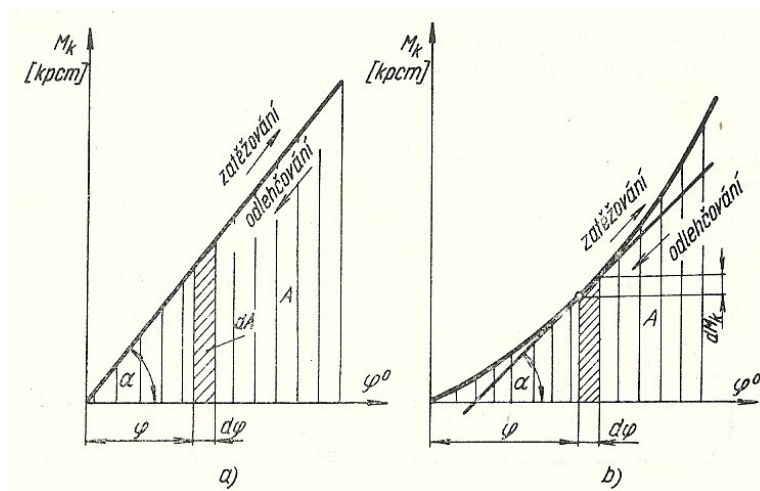
Jmenovitý točivý moment  $T_J$  (Na obr. 13. je označen  $M_n$ ) způsobí pružnou deformaci pružin a vzájemné natočení obou kotoučů spojky. Náhlá krátkodobá změna točivého momentu představuje přebytek hnací práce, který zvýší deformaci pružin a zvětší natočení obou spojkových kotoučů. Při této dočasné pružné deformaci pružin se akumuluje přebytek hnací práce a při zpětném pohybu pružin, který následuje po nárazu, se převede tento přebytek hnací práce na hnaný hřídel [1].

Pružiny, které nemají tlumení, převedou akumulovanou práci na hnaný hřídel bez ztrát (Obr. 13a). Přitom se změní ráz o hodnotu  $\alpha$  a jeho časové posunutí  $t_2 > t_1$ . Pružiny, které mají schopnost zcela utlumit náraz, převedou přebytek hnací práce na teplo (Obr. 13b). Pružné spojky pracují obvykle s útlumem i akumulací energie rázu (Obr. 13c). Celkové zmírnění rázu  $c$  bývá složeno z útlumu  $a$  a akumulace  $b$ . Schopnost snížení rázu tlumením je dána velikostí energie pohlcené pružnými články při jejich deformaci. K pohlcení energie rázu a její přeměně na tepelnou energii dochází jednak účinkem vnitřního tření v pružných materiálech a jednak účinkem vnějšího tření mezi pružnými elementy [1].

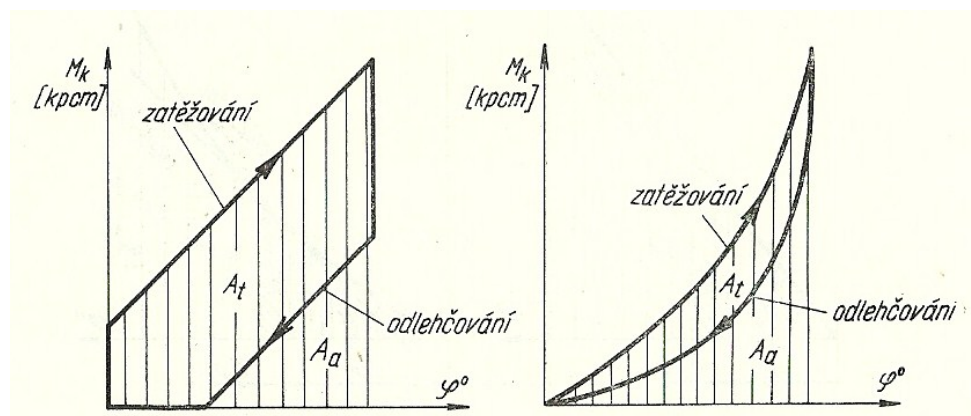
Torzní pružnost a tlumící schopnost pružných spojek udávají tzv. charakteristiky. Spojky, jejichž pružiny nemají tlumící schopnosti, mají pro zatěžování i odlehčování stejnou charakteristiku a to buď přímkovou (Obr. 14a), nebo křivkovou (Obr. 14b). Pružné spojky pracující s tlumením a akumulací energie rázu, mají pro zatěžování a odlehčování různé charakteristiky (Obr. 15) [1].



Obr. 13 Chování pružných spojek [1]

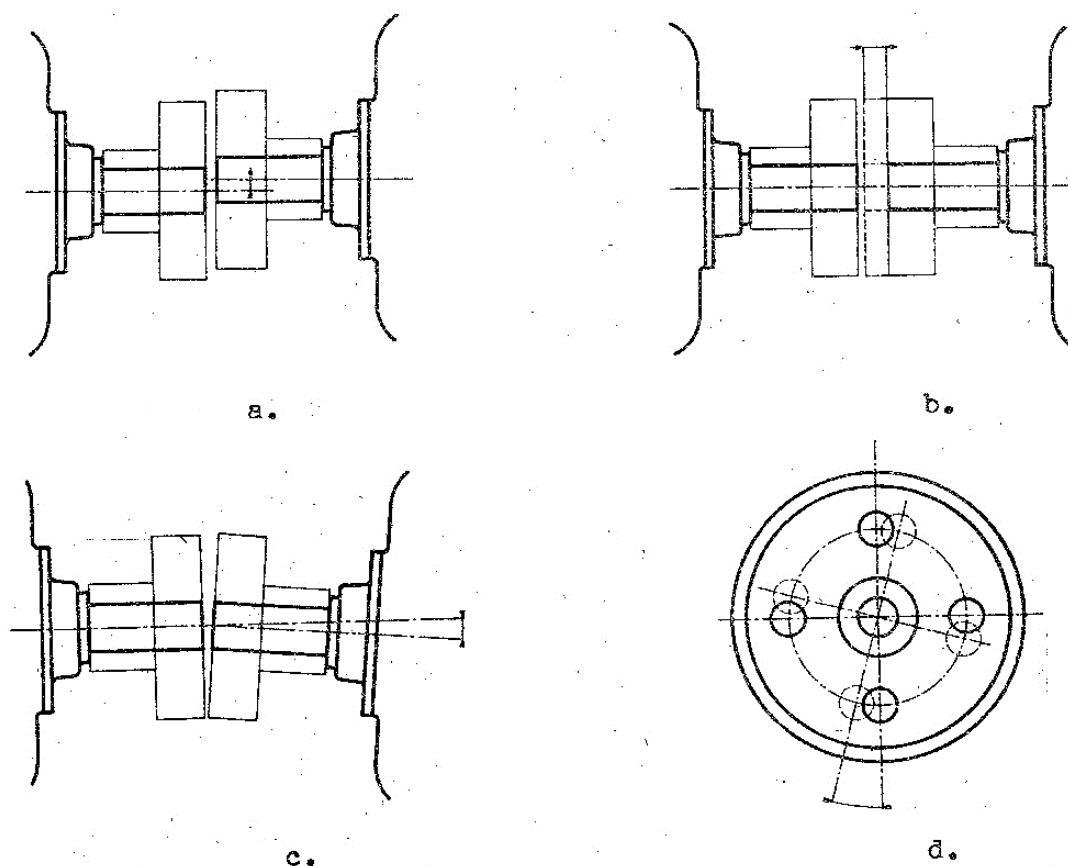


Obr. 14 Charakteristika pružných spojek bez tlumení [1]



Obr. 15 Charakteristika pružných spojek s tlumením [1]

Dále pružné spojky nevyžadují zpravidla přesnou souosost spojovaných hřídelů (Obr. 16a), připouštějí i poměrně značné osové (Obr. 16b) i úhlové vychylky (Obr. 16c). Dovolují i pootočení obou polovin spojky proti sobě (Obr. 16d) [3].



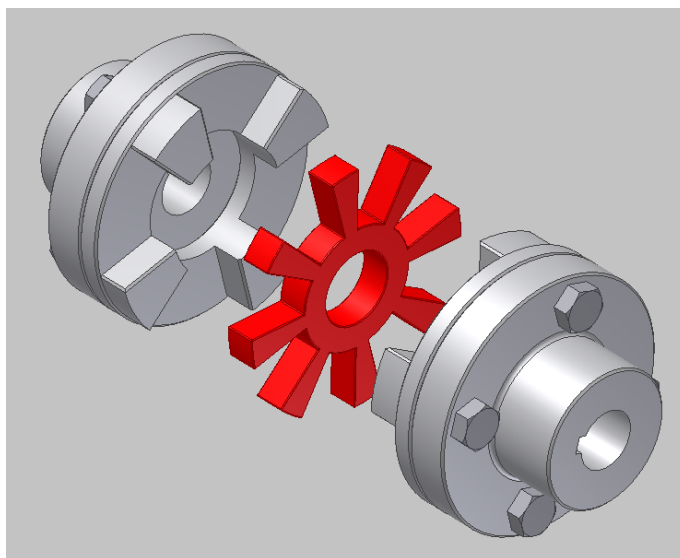
Obr. 16 Osové a úhlové vychýlení spojek [3]

## 5. KONSTRUKČNÍ NÁVRH PRUŽNÉ ELASTOMEROVÉ SPOJKY

Pružné elastomerové spojky bývají konstrukčně poměrně jednoduché strojní součásti, přesto v současné době existuje celá řada různých způsobů tvarových řešení a konstrukcí. Při návrhu jsem vycházel z několika typů spojek od různých výrobců a do svého návrhu jsem zahrnul i zadanou podmínku výměny pružných elastomerových prvků bez demontáže přírub na hřídelích.

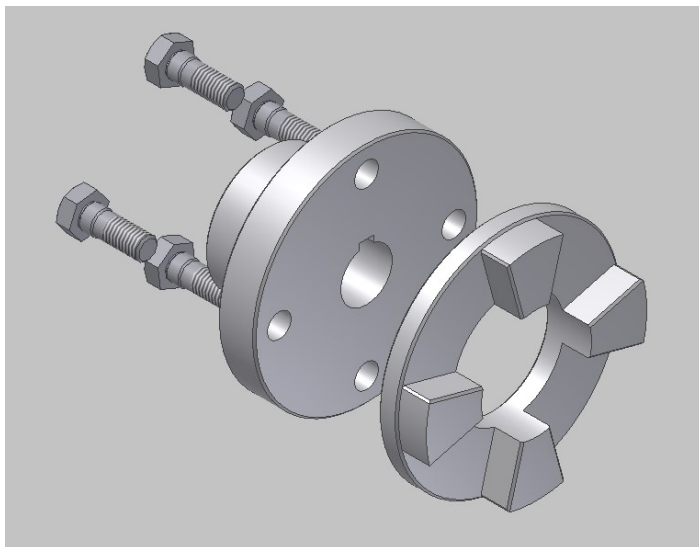
### 5.1 Návrh spojky

Mnou navrhnutá spojka se skládá ze tří hlavních částí – dvou přírub a jednoho pružného jádra (Obr. 17). Pružné jádro má tvar osmicípé hvězdice, obě příruby pak mají na čelních stranách čtyři hranoly zapadající do mezer hvězdice.



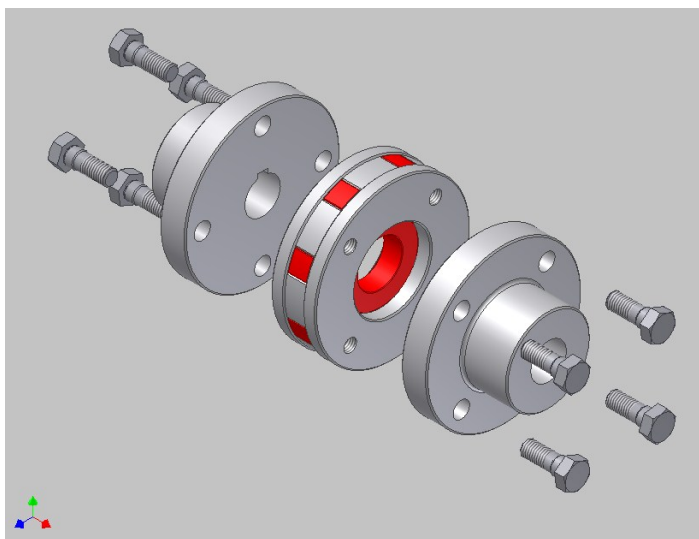
Obr. 17 Tři hlavní části spojky

Dále je každá příruba rozdělena na dvě části, jedna pro uchycení náboje na hřídeli a druhá opatřená hranoly. Obě části jsou pak spojeny čtyřmi šrouby (Obr. 18).



Obr. 18 Rozdělená příruba

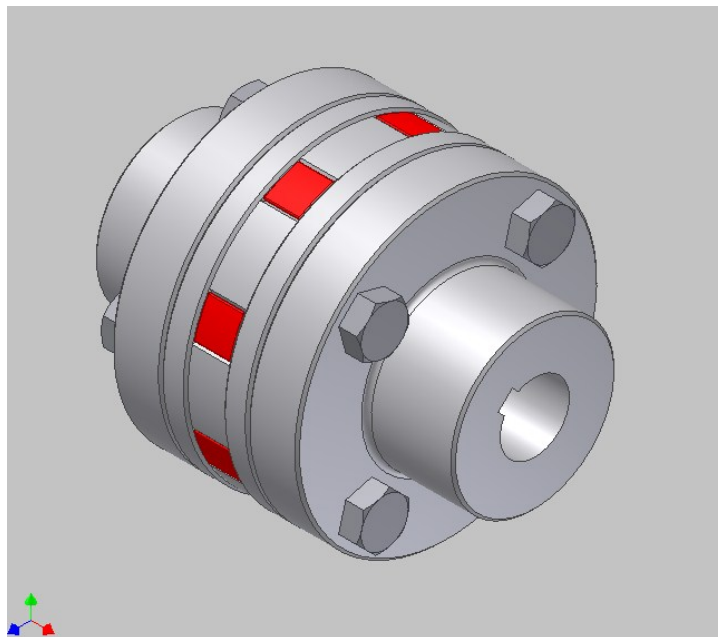
Při výměně pružného jádra, se jednoduše demontují šrouby, vysunou se uvolněné ozubené desky i s pružným jádrem a to se pak může snadno vyměnit (Obr. 19).



Obr. 19 Výměna pružného jádra

Kompletně smontovaná spojka je znázorněna na obr. 20.





Obr. 20 Pružná elastomerová spojka

## 5.2 Návrh pružného jádra

Materiál pružného jádra:

Jádro je vyrobeno s elastomerového polyuretanu, který má velmi dobré pevnostní parametry, vykazuje vysokou odolnost vůči oděru, má velmi dobré tlumící vlastnosti a zároveň odolává minerálním olejům, benzínům, mazacím tukům a ozónu [9].

U nás i v zahraničí existuje několik firem produkujících výrobky právě s elastomerového polyuretanu, např. PLASTOR, spol. s r.o., VSS, s.r.o. (Obr. 21).



Obr. 21 Výrobky s elastomerového polyuretanu [9]



## 6. VÝPOČET PRUŽNÉ ELASTOMEROVÉ SPOJKY

### 6.1 Výpočtový moment spojky:

Jmenovitý točivý moment:

Jmenovitý točivý moment jsem vypočetl s výkonu asynchronního elektromotoru  $P_M$  a jeho otáček  $n_M$ .

$$T_J = \frac{P_M \cdot 30000}{n_M \cdot \pi} = \frac{15 \cdot 30000}{1470 \cdot \pi} = 97,442 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6.1)$$

Servisní faktor:

Podle druhu provozu, typu hnaného stroje, typu hnací jednotky a počtu provozních hodin denně jsem získal servisní faktor  $s = 2,0$ .

Tab. 1 Servisní faktor [10]

|                    |   | Typ hnací jednotky            |       |     |   |       |     |
|--------------------|---|-------------------------------|-------|-----|---|-------|-----|
|                    |   | Elektromotory a parní turbíny |       |     | Spalovací motory, parní a vodní turbíny |       |     |
|                    |   | Počet provozních hodin denně  |       |     | Počet provozních hodin denně            |       |     |
|                    |   | <10                           | 10-16 | >16 | <10                                     | 10-16 | >16 |
| <b>Lehký</b>       | Míchací zařízení/misice (kapaliny), pásové dopravníky (s rovnoměrným rozdělením zatížení), dmýchadla a sací ventilátory, odstředivá čerpadla a kompresory, ventilátory (s výkonem nižším než 7,5 kW)  | 1,0                           | 1,1   | 1,2 | 1,3                                     | 1,4   | 1,6 |
| <b>Střední</b>     | Míchací zařízení/misice (pro jiné než kapalné materiály), pásové 1,6 a řetězové dopravníky (s nerovnoměrným rozdělením zatížení), ventilátory (s výkonem vyšším než 7,5 kW), generátory, transmisní hřídele, obráběcí stroje, rotační čerpadla a kompresory (jiné než odstředivé) Stroje pro zpracování potravin, prádelny a polygrafický průmysl |                               | 1,8   | 2,0 | 2,0                                     | 2,2   | 2,5 |
| <b>Těžký</b>       | Těžké dopravníky (korečkové, hřeblové/lopatové, šnekové), kladivové mlýny, lis, prostřihovací lis, nůžky, pístová čerpadla kompresory Stroje pro cihelný, textilní průmysl, papírenský průmysl a pily   | 2,0                           | 2,2   | 2,3 | 2,5                                     | 2,6   | 2,8 |
| <b>Velmi těžký</b> | Drtiče (kuželové, čelistové, válcové), těžké mlýny (kulové, tyčové, bubnové), zdvihací zařízení   | 2,5                           | 2,8   | 3,1 | 3,2                                     | 3,6   | 4,0 |

Teplotní faktor:

Pro teploty od  $-30 \div +40^\circ\text{C}$  je hodnota teplotního faktoru  $s_t = K_t = 1,2$

Tab. 2 Teplotní faktor [11]

| T [°C] | - 30°C / + 30°C | + 40°C | + 60°C | + 80°C |
|--------|-----------------|--------|--------|--------|
| Kt     | 1               | 1,2    | 1,4    | 1,8    |

Bezpečnostní faktor pro četnost spouštění:

Bezpečnostní faktor odhaduji pro  $0 \div 100$  spuštění za hodinu  $s_s = K_a = 1$

Tab. 3 Bezpečnostní faktor pro četnost spouštění [11]

| S/h            | 0 ÷ 100 | 101 ÷ 200 | 201 ÷ 400 | 401 ÷ 800 |
|----------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| K <sub>a</sub> | 1       | 1,2       | 1,4       | 1,6       |

Výpočtový moment spojky:

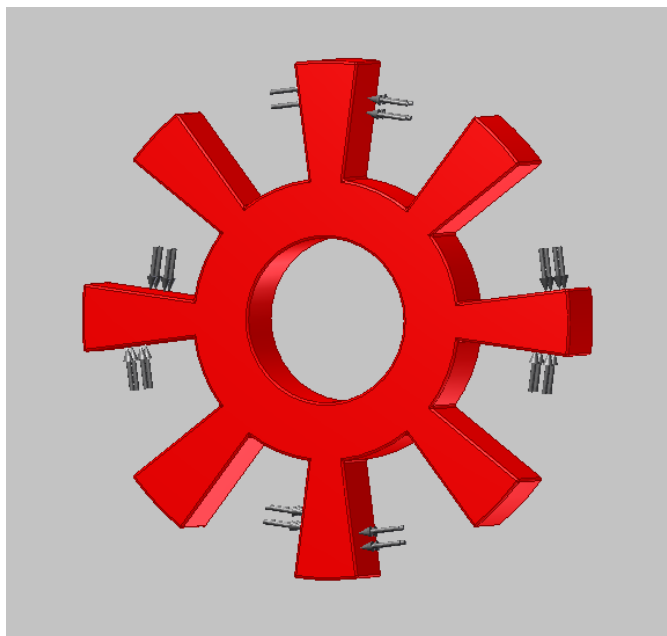
$$T_S = T_J \cdot s = 97,442 \cdot 2,0 = 194,884 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6.2)$$

Maximální moment spojky:

$$T_{S\text{MAX}} = T_S \cdot s_t \cdot s_s = 194,884 \cdot 1,2 \cdot 1 = 233,861 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6.3)$$

## 6.2 Výpočet namáhání pružného jádra:

Z konstrukčního řešení spojky je patrné, že během zatížení při otáčení spojky v jednom směru jsou namáhány vždy jen čtyři ramena pružného jádra. Ostatní čtyři jsou namáhány při otáčení ve směru opačném (Obr. 22).

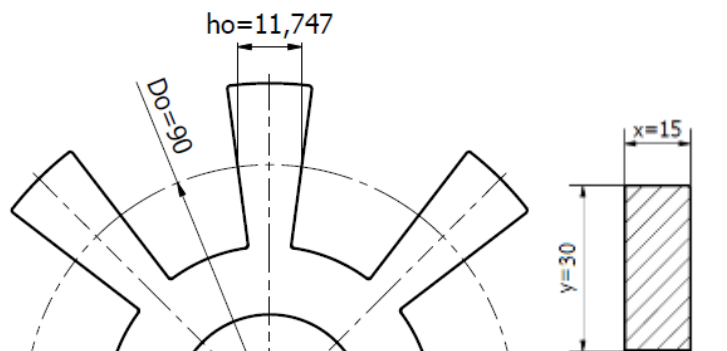


Obr. 22 Zatížení pružného jádra

Vlastnosti pružného jádra:

|                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| Tvrdost:                          | 80°Sh                  |
| Modul pružnosti:                  | 1300 MPa               |
| Pevnost v tahu:                   | 35 N·mm <sup>2</sup>   |
| Tažnost:                          | 580 %                  |
| Odolnost proti odírání:           | 50 mm <sup>3</sup>     |
| Měrná hmotnost:                   | 1,25 g/cm <sup>3</sup> |
| Deformace tlakem při 70°C/24 hod: | 45 %                   |
| Koeficient tření:                 | 0,3 ÷ 0,4              |

Při výpočtu jsem vycházel ze vzorců pro výpočet pryžové pružiny čepové spojky [1].



Obr. 23 Rozměry a průřez ramenem pružného jádra

Obvodová síla:

$$F_{OB} = \frac{2 \cdot T_{SMAX}}{D_0} = \frac{2 \cdot 233861}{90} = 5196,91 \text{ N} \quad (6.4)$$

Měrný tlak:

$$p = \frac{F_{OB}}{2 \cdot i \cdot x \cdot y} = \frac{5196,91}{2 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 30} = 1,44 \text{ MPa} \quad (6.5)$$

Poměrné stlačení:

$$\varepsilon = \frac{F_{OB}}{S_0 \cdot E_0} = \frac{5196,91}{450 \cdot 1300} = 0,009 \text{ mm} \quad (6.6)$$

$$S_0 = x \cdot y = 15 \cdot 30 = 450 \text{ mm}^2 \quad (6.7)$$

Tuhost pružného jádra:

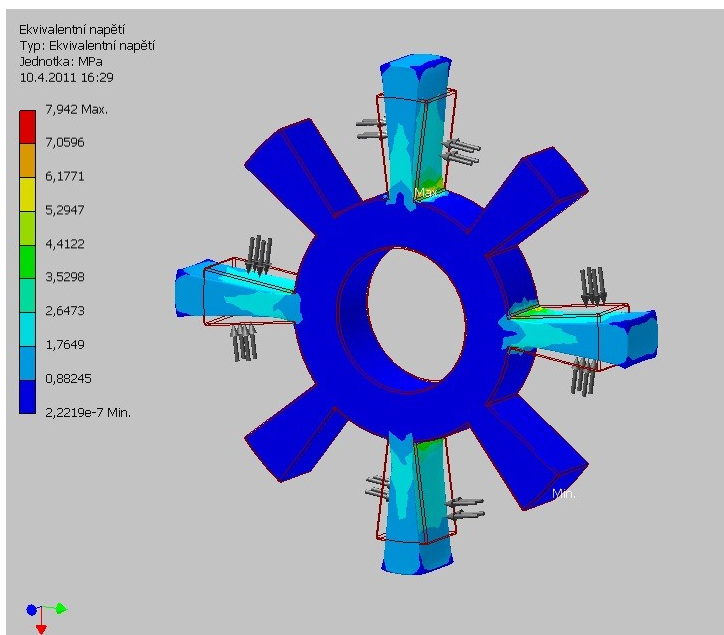
$$C_p = \frac{S_0}{h_0} \cdot E_0 = \frac{450}{11,747} \cdot 1300 = 49799,95 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6.8)$$

### 6.3 Výpočet namáhání pružného jádra metodou konečných prvků:

Výpočet namáhání metodou konečných prvků byl proveden pomocí programu INVENTOR 2009. Výpočet je zjednodušený a slouží jako kontrola vypočtených hodnot.

Zobrazení průběhu ekvivalentního napětí:

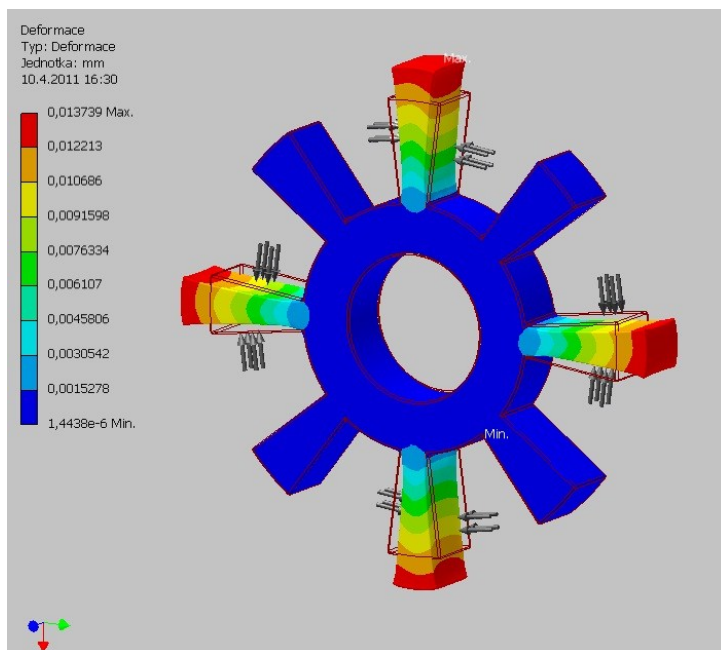
- Maximální hodnota ekvivalentního napětí činí 7,942 MPa.



Obr. 24 Průběh ekvivalentního napětí

Zobrazení průběhu deformací:

- Maximální hodnota deformace je 0,0137 mm.



Obr. 25 Průběh deformací

#### 6.4 Kontrola namáhání šroubu na střih a na otláčení:

Počet šroubů:  $i_s = 4$

Střední poloměr spojky:  $R = 47,5 \text{ mm}$

Parametry šroubu: ŠROUB M12 x 32 ČSN 02 1111

Průměr hladkého díku šroubu:  $d = 13 \text{ mm}$

Střední průměr závitu šroubu:  $d_2 = 10,863 \text{ mm}$

Namáhání na střih:

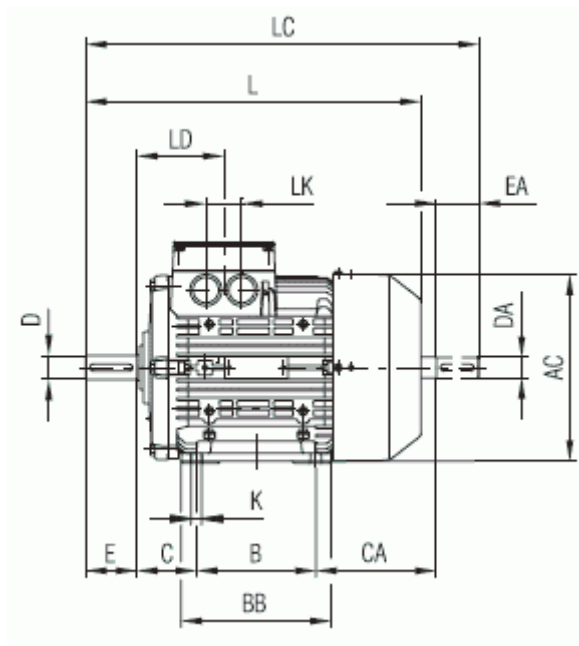
$$\tau = \frac{T_{SMAX}}{i_s \cdot R \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{233861}{4 \cdot 47,5 \cdot \frac{\pi \cdot 13^2}{4}} = 9,27 \text{ MPa} \leq \tau_{DOV} = (50 \div 70) \text{ MPa} \quad (6.9)$$

Kontrola šroubu na otláčení:

$$p_o = \frac{T_{SMAX}}{i_s \cdot R \cdot d_2} = \frac{233861}{4 \cdot 47,5 \cdot 10,863} = 113,3 \text{ MPa} \leq p_{ODOV} = 120 \text{ MPa} \quad (6.10)$$

#### 6.5 Kontrola boku pera a drážky na otláčení:

Podle zadaných parametrů jsem v katalogu SIEMENS vyhledal asynchronní elektromotor 1LA7-B3-2 [12].



Obr. 26 Elektromotor SIEMENS 1LA7-B3-2 [12]

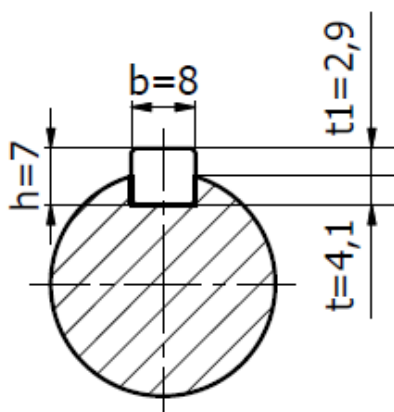
Tab. 4 Elektromotory SIEMENS [12]

| Osová výška | L     | LC  | LD    | LG  | LK | W    | D  | DA | E   | EA  | F  | FA | G  | GB | GD | GF |
|-------------|-------|-----|-------|-----|----|------|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 100L        | 372,5 | 438 | 102   | 120 | 42 | 32,3 | 28 | 24 | 60  | 50  | 8  | 8  | 24 | 20 | 7  | 7  |
| 112M        | 393   | 461 | 102   | 120 | 42 | 32,3 | 28 | 24 | 60  | 50  | 8  | 8  | 24 | 20 | 7  | 7  |
| 132S        | 454   | 552 | 128,5 | 140 | 42 | 32,3 | 38 | 38 | 80  | 80  | 10 | 10 | 33 | 33 | 8  | 8  |
| 132M        | 454   | 552 | 128,5 | 140 | 42 | 32,3 | 38 | 38 | 80  | 80  | 10 | 10 | 33 | 33 | 8  | 8  |
| 160M        | 588   | 721 | 160,5 | 165 | 54 | 40,3 | 42 | 42 | 110 | 110 | 12 | 12 | 37 | 37 | 8  | 8  |
| 160L        | 588   | 721 | 160,5 | 165 | 54 | 40,3 | 42 | 42 | 110 | 110 | 12 | 12 | 37 | 37 | 8  | 8  |

Pro hřídel průměru  $d_h = 28$  mm volím PERO 8 x 7 ČSN 02 2562

Parametry pera:

- $b = 8$  mm
- $h = 7$  mm
- $t_1 = 2,9$  mm
- $t = 4,1$  mm



Obr. 27 Průřez hřídelí s perem

Zatěžující síla:

$$F_P = \frac{T_{SMAX}}{\frac{d_h}{2} \cdot \frac{t_1}{2}} = \frac{233861}{\frac{28}{2} \cdot \frac{2,9}{2}} = 11520,2 \text{ N} \quad (6.11)$$

Dovolený tlak  $p_{DOV} = (100 \div 150)$  MPa pro materiál náboje ocel 11 500

Délka pera:

$$l' > \frac{F_P}{p_{DOV} \cdot t_1} = \frac{11520,2}{110 \cdot 2,9} = 39,7 \text{ mm} \cong 42 \text{ mm} \quad (6.12)$$

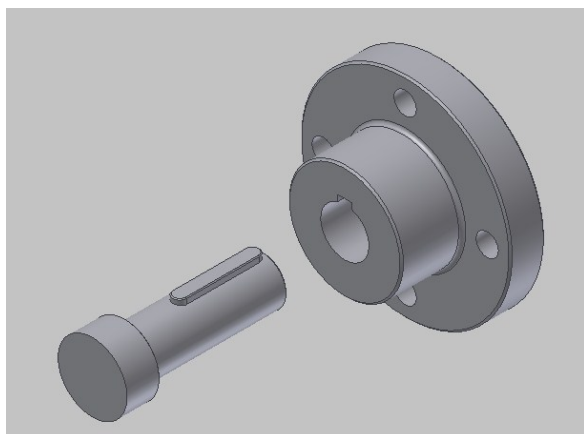
$$l = l' + b = 42 + 8 = 50 \text{ mm} \quad (6.13)$$

## 7. MONTÁŽ A ÚDRŽBA

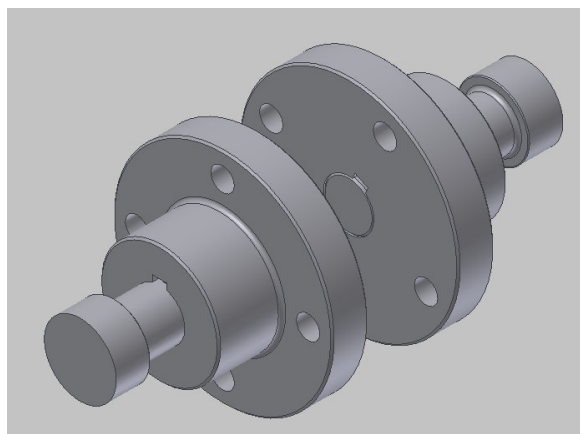
Spojka se skládá z malého počtu kusů, proto její montáž není složitá. V následujícím textu uvádím stručný postup [8].

Postup montáže pružné elastomerové spojky:

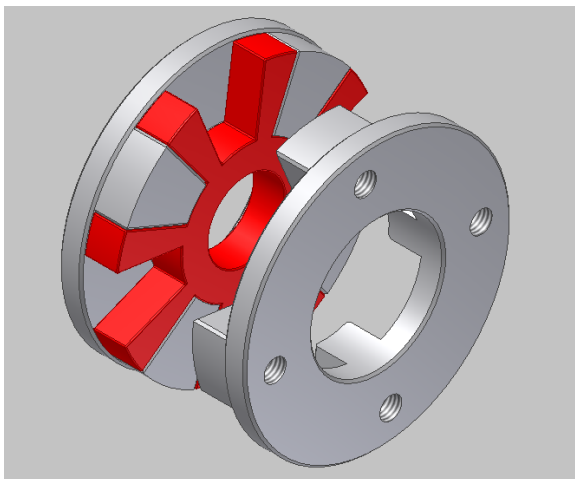
1. Před začátkem práce zkontrolujeme otáčení obou spojovaných hřídelů.
2. Do otvorů v hřídelích vsadíme, případně dolícujeme pera.
3. Hřídel natřeme mazacím tukem s příměsí Molyky.
4. Samostatnou přírubu bez ozubené desky nasuneme na hřídel převodovky (Obr. 28).
5. Stejně tak nasuneme druhou přírubu na hřídel elektromotoru (Obr. 29).
6. Mezi dvě ozubené desky vložíme pružné jádro tak, aby se každý zub ozubené desky nacházel v mezeře ramen pružného jádra (Obr. 30).
7. Obě ozubené desky s pružným jádrem vložíme mezi předem připravené příruby.
8. Obě příruby natočíme tak, aby čtyři otvory na ozubených deskách byly v ose se čtyřmi otvory v přírubách.
9. Do čtyř otvorů na každé přírubě vložíme šrouby a dobře dotáhneme.
10. Spojka je připravená k použití (Obr. 31).



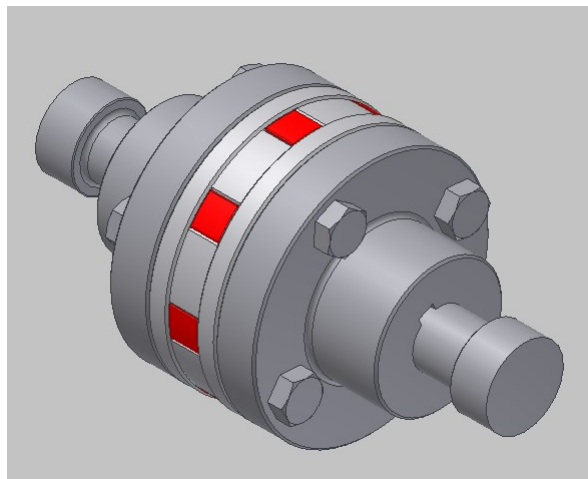
Obr. 28 Spojení hřídele s přírubou



Obr. 29 Obě připravené příruby



Obr. 30 Ozubené desky s pružným jádrem



Obr. 31 Kompletní spojka připevněná na hřídelích

### Výměna pružného jádra:

Při výměně pružného jádra stačí jen demontovat šrouby na obou přírubách, vysunout obě ozubené desky a po jejich rozdělení vyjmout pružné jádro. To nahradíme novým, obě ozubené desky opět spojíme, zasuneme mezi příruby a opět sešroubujeme [8].

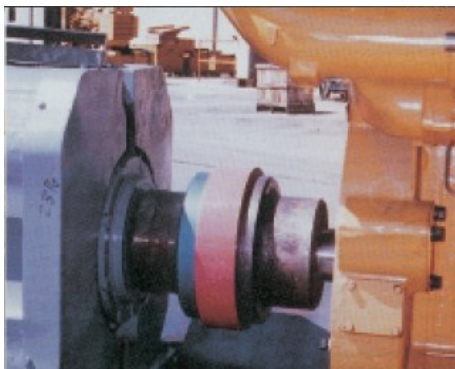
### Údržba:

Konstrukce spojky je poměrně jednoduchá a tím i její provoz nevyžaduje zvláštní ani pravidelnou údržbu. Je nutné kontrolovat opotřebení a trvalou deformaci pružného jádra, při poškození vyměnit [8].

### Ochrana a bezpečnost:

Spojka by měla být v provozu zcela uzavřena do nosného krytu, který zabraňuje přístupu k rotujícím částem a zamezuje vzniku třecí jiskry při případném nárazu nebo pádu předmětu na střední část spojky (Obr. 32).

Pracovník obsluhující zařízení, u kterého je spojka použita, musí být prokazatelně seznámen s její funkcí a údržbou [8].



Obr. 32 Ochranný kryt spojky [23]



## 8. ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce byl konstrukční návrh pružné hřídelové spojky s pružícími elastomerovými prvky. Na základě zpracovaného přehledu jsem zvolil tvarové řešení hřídelové spojky skládající se ze dvou přírub a jednoho pružného jádra. Konstrukci spojky jsem upravil tak, aby byla umožněná výměna elastomerového jádra bez demontáže nábojů na hřídelích.

Byl proveden návrhový a kontrolní výpočet všech částí spojky včetně kontroly namáhání pružného jádra pomocí metody konečných prvků. Vzhledem k výsledkům výpočtů předpokládám, že návrh je správný.

V příloze jsem uvedl výkresovou dokumentaci skládající se z dílenského výkresu hnacího náboje, dílenského výkresu ozubené desky a sestavy spojky.

Spojka slouží k tlumení rázu točivého momentu přenášeného na kuželočelní převodovku pohonné stanice pásového dopravníku pro přepravu surového uhlí. Právě v takto náročných provozech se pružné elastomerové spojky hojně využívají, hlavně pro jejich jednoduchou montáž, údržbu a spolehlivost.

## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOLEK, A. *Hřídelové spojky*. Praha: SNTL, 1967.
- [2] MAŠEK, A., NĚMEC, J. *Spojky*. Praha: SNTL, 1963
- [3] BUREŠ, V. *Části strojů II*. Praha: SNTL, 1960
- [4] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře – Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [5] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře – Části pohonů strojů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Třetí doplněné vydání ALBRA – pedagogické nakladatelství. Úvaly: 2006. ISBN 80-7361-033-7
- [7] Spojka pružná – Návod k použití. OSTROJ Opava a.s., Divize důlní stroje
- [8] Hřídelové spojky. Dostupné z WWW: [http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str-11.04\\_castistrojuumoznujicipohyb\\_spojky.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str-11.04_castistrojuumoznujicipohyb_spojky.pdf)
- [9] VSS,s.r.o. Dostupné z WWW: <http://www.vss-plasty.cz/plastove-polotovary/polytan.html>
- [10] Katalog SKF – Spojky. Dostupné z WWW: [http://www.skf.com/portal/skf\\_cz/home/products?contentId=290506&lang=cs](http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=290506&lang=cs)
- [11] Katalog TRASCO. Dostupné z WWW: <http://www.tyma.cz/files/spojky/sit-trasco.pdf>
- [12] Katalog SIEMENS, K02-0605 CZ. Dostupné z WWW: <http://www.elektromotory-siemens.cz/upload/File/katalog-elektromotoru-1la7-0605-k02-cz.pdf>
- [13] Katalog KTR – REVOLEX. Dostupné z WWW: [http://www.ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/en/en\\_gesamt/002\\_poly-norm\\_revolex-kx\\_poly\\_en.pdf](http://www.ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/en/en_gesamt/002_poly-norm_revolex-kx_poly_en.pdf)
- [14] Katalog STROMAG. Dostupné z WWW: <http://pdf.directindustry.com/pdf/stromag/flexible-gurimax-insert-couplings/6272-62271.html>
- [15] Bibi spojka. Dostupné z WWW: <http://grafika.sps-br.cz/images/prace/04.JPG>
- [16] Periflex spojka. Dostupné z WWW: <http://www.hellotrade.com/stromag/shaft-coupling.html>
- [17] Hřídelové spojky. Dostupné z WWW: <http://files.strojarna.webnode.cz/200000016-a0da9a1d4c/spojky.pdf>
- [18] Centaflex. Dostupné z WWW: <http://www.herrekor.es/productos-herrekor/productos-listado.asp?key3=40>
- [19] Katalog ROTEX. Dostupné z WWW: [http://www.ktr.com/en/index/service/876\\_productcatalog/catalog/productcatalog.htm?frame=us](http://www.ktr.com/en/index/service/876_productcatalog/catalog/productcatalog.htm?frame=us)

- [20] Katalog HBE. Dostupné z WWW: [http://www.echterhage-holding.de/downloads/hbe\\_softex\\_de-en\\_0308.pdf](http://www.echterhage-holding.de/downloads/hbe_softex_de-en_0308.pdf)
- [21] Katalog CHIARAVALLI. Dostupné z WWW: <http://www.chiaravalli.hu/CHIARAVALLI/tengelykapcsolok/kormos%20tengelykapcsolok.pdf>
- [22] Katalog R+W. Dostupné z WWW: [http://www.rw-america.com/PDF-couplings-line-shafts/EK\\_elastomer-couplings.pdf](http://www.rw-america.com/PDF-couplings-line-shafts/EK_elastomer-couplings.pdf)
- [23] Katalog BOMAB SAMIFLEX. Dostupné z WWW: <http://www.bomab.se/bomabeng/produkter/samiflex/swe/pdf/Broschyr%207%20Eng.pdf>
- [24] Katalog LOVEJOY. Dostupné z WWW: <http://pdf.directindustry.com/pdf/lovejoy-7199.html>
- [25] Katalog MAGNALOY. Dostupné z WWW: [http://www.magnaloy.com/catalog\\_pdf/CouplingCatalog.pdf](http://www.magnaloy.com/catalog_pdf/CouplingCatalog.pdf)
- [26] Katalog FLENDER. Dostupné z WWW: <http://www.sea.siemens.com/us/internet-dms/dt/GearBoxesandCouplings/GearBoxesandCouplings/Docs/Catalog%20MD10-1%20-%202008.pdf>

## 10. SEZNAM PŘÍLOH

- |                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 1. Sestava spojky:               | HEC090-01 |
| 2. Výrobní výkres příruby:       | HEC090-02 |
| 3. Výrobní výkres ozubené desky: | HEC090-03 |